

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

PATRONES FOTOMÉTRICOS DE LLAMA ⁽¹⁾

POR

E. B. ROSA y E. C. CRITTENDEN

(*Bulletin of The Bureau of Standards*, vol. X, núm. 4.)

2. LA LÁMPARA CARCEL.

En la discusión sobre los coeficientes de corrección no se ha mencionado la lámpara Carcel porque funciona de una manera tan irregular, que nadie ha logrado determinar alguno de sus coeficientes. Muy pocos son los experimentos que se han hecho con esta lámpara en el Bureau of Standards, pero todos confirman las conclusiones de otros observadores, que son: que la lámpara nunca adquiere un estado permanente, que su intensidad depende de la dirección en que se mide, así como también de la clase y posición de la chimenea, tanto, que las diferencias llegan á algunas unidades por ciento y pasan del 2 por 100 las que resultan entre cada medición, y el valor medio aun cuando sea grande el cuidado que se ponga para reproducir las condiciones de funcionamiento. Aunque la potencia luminosa media obtenida se acerca mucho al valor normal (9,62 bujías internacionales), no puede concederse gran confianza á un valor así determinado, siendo inútil gastar tiempo en el estudio de tal lámpara.

3. LA LÁMPARA HEFNER.

La lámpara Hefner tiene una historia larga y honrosa, y aunque exige mucha paciencia, habilidad y numerosas observaciones para llegar á resultados satisfactorios, posee, sin embargo, ventajas de gran importancia debido á las cuales aspira á ocupar el primer lugar entre los patrones de llama, á pesar de que desde hace un cuarto de siglo se trata de reemplazarla por otra mejor.

Las ventajas principales como patrón primario son: la sencillez de construcción y funcionamiento, la facilidad con que se maneja, su volumen y peso pequeños, su duración y la gran concordancia entre todas ellas. Constituyen sus defectos la pequeña intensidad de la llama, la movilidad y color rojizo de ésta, así como la dificultad de darle la altura normal, todas las cuales son graves objeciones para adoptarla por patrón primario ó secundario.

El Reichsanstalt considera correctas las lámparas cuya potencia luminosa se diferencia de la del patrón en menos de ± 2 por 100, cosa que les ocurre á las ocho que posee el Bureau of Standards construídas por dos fabricantes, cuatro por uno y cuatro por otro; además, las diferencias entre el valor de cada lámpara y el de la media de las ocho es poco mayor de ± 1 por 100. Sin embargo, un patrón fotométrico primario no es completamente satisfactorio mientras existan diferencias apreciables entre lámparas hechas en condiciones idénticas; es natural que en las mediciones haya errores accidentales, pero si ocurre lo que en dichas ocho lámparas, que las diferencias correspondientes á cada una son siempre de la misma magnitud y signo, puede asegurarse que no son idénticas por lo que se refiere á su construcción, hecho que puede atribuirse á dos causas: á que las condiciones establecidas para la fabricación no son todo lo precisas que debieran, y á que en algunas lámparas no se cumplen con todo rigor. Para que la intensidad de la llama no varíe, permaneciendo constantes las circunstancias atmosféricas, es preciso: 1.º, que el combustible sea uniforme; 2.º, que el tubo para la mecha tenga siempre las mismas dimensiones y esté hecho con el mismo material, y 3.º, que la altura de la llama sea constante. Al comparar las lámparas se hará uso en todas ellas del mismo combustible y de la misma mecha procurando que no varíe la constitución del aire así como su temperatura y presión; el patrón con el que se comparen no se cambiará y se empleará el método de sustitución. Por lo tanto, las diferencias que se observen serán debidas á las variaciones de la altura de la llama ó á la influencia de los tubos para la mecha en el tamaño ó en la temperatura de la misma.

En las lámparas Hefner se emplean dos disposiciones para observar la llama: la primitiva consiste en colocar en el centro de un tubo horizontal una placa de 0,2 milímetros de espesor, horizontal también, con la cual ha de enrasar el extremo de la llama al mirarla por aquel tubo; posteriormente ideó Krüss la segunda, constituída por una pantalla de cristal esmerilado sobre la que una lente forma una imagen de la llama, cuyo extremo superior ha de coincidir con una raya horizontal, grabada en la pantalla. La segunda disposición es preferible á la primera, por fatigar menos la vista y porque con ella se ajusta más fácilmente la altura de la llama: también da potencias luminosas algo más elevadas que la otra. Es de recomendar la disposición Krüss por las tres razones siguientes independientes entre sí: 1.ª, cansa menos la vista; 2.ª, permite hacer observaciones más seguras, y 3.ª, hace posible la repetición de los experimentos en condicio-

(1) Véase el número 2098.

nes idénticas. El ajuste de la altura de la llama es una operación que requiere mucha atención y gran experiencia, así como un aparato óptico de condiciones muy bien definidas, puesto que una variación de un milímetro en la altura de la llama lleva consigo un error del 2 por 100 en su potencia luminosa, de manera que sólo es admisible una diferencia de unos pocos milímetros en la posición del extremo superior de aquélla. La observación no está libre de la influencia de la ecuación personal.

La disposición de Krüss es muy satisfactoria y permite reproducir con mucha exactitud la situación del tubo que lleva la mecha con relación á la raya grabada en la pantalla de cristal esmerilado, á pesar de que la construcción no ha sido hasta ahora muy perfecta, pues entre algunas de ellas se han observado diferencias que llegan á 0,2 por 100.

Las condiciones del tubo para la mecha afectan á la llama de varios modos. Su calibre, del que depende en gran parte el tamaño de la llama, ha de ser precisamente 8 milímetros, y es el que tienen todas las lámparas, con diferencias pequeñísimas; el espesor de sus paredes ha de estar comprendido entre 0,14 y 0,17 milímetros. Este tubo propaga el calor por conducción al acetato de amilo, cuyo nivel debe estar unos 2 milímetros por debajo del extremo inferior de aquél: también pasa algo de calor al cuerpo de la lámpara además del que se pierde por radiación en su superficie.

Cuanto más grueso sea el tubo con mayor rapidez se propagará el calor y será necesario, por lo tanto, subir la mecha para que la altura de la llama sea la debida: también se enfría más la llama y disminuye por esta circunstancia su potencia luminosa.

Estas circunstancias indican que las condiciones del tubo para la mecha se deben especificar muy detalladamente para poder obtener llamas idénticas: diferencias de una ó dos centésimas de milímetro en el espesor de las paredes de dicho tubo producen efectos apreciables; convendría fijar su peso también, así como la composición del metal blanco que se emplea en su fabricación para conseguir resultados concordantes. Puede asegurarse que con condiciones muy detalladas y una construcción muy esmerada se perfeccionaría en grado sumo el patrón fotométrico Hefner.

El combustible acetato de amilo ($C_7H_{14}O_2$) se obtiene con fa-

cilidad bastante puro y con las condiciones reglamentarias. En el Bureau of Standards se recibió una proposición de un acreditado fabricante de productos químicos ofreciendo acetato de amilo puro, pero que no satisfacía á las condiciones establecidas y que producía una llama de intensidad algo diferente á la que daba el acetato que cumple con aquéllas. En los trabajos que requieran gran precisión se debe ensayar el combustible antes de emplearle ó adquirir el que se sepa que se ha preparado especialmente para las lámparas Hefner.

La altura normal de la llama de la lámpara Hefner es 40 milímetros, y entonces su potencia luminosa es 0,9 de la bujía internacional. Se han estudiado lámparas con alturas de llama de 45 milímetros, cuya potencia luminosa es una bujía internacional, por término medio, con la disposición Krüss; tomando por base la media de todas las lámparas estudiadas, la altura de la llama debía ser 45,25 milímetros. Es de esperar que cuando se especifiquen con más detalle las condiciones del tubo para la mecha y se emplee exclusivamente la disposición Krüss, la potencia luminosa de la llama de 45 milímetros de altura será una bujía internacional.

El coeficiente «temperatura-luz» de la lámpara Hefner es pequeñísimo entre los límites de temperatura en que generalmente se opera con ella, sobre todo entre 15 y 20° C. Para experimentos delicados, se especificará la temperatura.

La tabla 5.^a es un resumen de los resultados obtenidos con ocho lámparas Hefner: dos nuevas y taradas, por lo tanto, pocas veces; de las seis restantes, tres tienen la disposición Hefner, para observar la llama, y las otras tres, la Krüss. La primera parte de la tabla se refiere á las llamas de 40 milímetros de altura, y la segunda, á las de 45. En la columna núm. 2 figuran los experimentos que se han hecho con cada lámpara: un «experimento» es el valor medio de veinte observaciones en el fotómetro, durante las cuales la altura de la llama se ajusta varias veces, de dos á cinco. Más de la mitad de las observaciones han sido hechas por Mr. Crittenden y por Mr. Taylor, y el resto, por personas con menos experiencia en trabajos con patrones de llama; con objeto de poder hacer comparaciones, se consignan por separado los resultados correspondientes á cada grupo de observadores.

Tabla 5.^a

Resumen de los experimentos con ocho lámparas Hefner.

LÁMPARAS	PESO del tubo para la mecha. — Gramos.	LLAMA DE 40 mm. DE ALTURA				LLAMA DE 45 mm. DE ALTURA				TANTO POR CIENTO de la desviación media con relación á la potencia luminosa media.	
		TODOS LOS EXPERIMENTOS		E. C. C. & A. H. T.		TODOS LOS EXPERIMENTOS		E. C. C. & A. H. T.		40 mm.	45 mm.
		Número de ex- perimentos.	Bujías internacio- nales.	Número de ex- perimentos.	Bujías internacio- nales.	Número de ex- perimentos.	Bujías internacio- nales.	Número de ex- perimentos.	Bujías internacio- nales.		
Con la disposición Hefner:											
804 K.....	1,246	21	0,889 ₇	15	0,890 ₇	17	0,990 ₇	11	0,992 ₅	0,74	0,66
879 S.-H.....	1,145	19	0,897 ₅	13	0,898 ₅	17	0,991 ₀	11	0,993 ₇	0,50	0,65
1.342 S.-H.....	1,144	19	0,890 ₄	13	0,897 ₈	17	0,991 ₂	11	0,988 ₇	0,67	0,92
<i>Valores medios.....</i>	»	»	0,894 ₄	»	0,895 ₅	»	0,991 ₀	»	0,991 ₆	0,64	0,74
Con la disposición Krüss:											
786 K.....	1,311	26	0,901 ₁	19	0,901 ₁	23	0,997 ₅	17	0,998 ₁	0,50	0,65
887 S.-H.....	1,153	32	0,907 ₅	20	0,906 ₈	25	1,001 ₀	18	1,001 ₅	0,44	0,47
1.343 S.-H.....	1,121	33	0,903 ₂	21	0,901 ₈	24	1,000 ₁	17	0,999 ₇	0,51	0,70
<i>Valores medios.....</i>	»	»	0,903 ₀	»	0,903 ₂	»	0,999 ₈	»	0,998 ₈	0,49	0,61
VALORES MEDIOS GENERALES..	»	»	0,899 ₂	»	0,899 ₄	»	0,995 ₄	»	0,995 ₇	0,56	0,68
Lámparas nuevas:											
1.714 K.....	1,177	5	0,890 ₈	4	0,887 ₁	»	»	»	»	»	»
1.715 K.....	1,184	5	0,896 ₈	4	0,895 ₁	»	»	»	»	»	»

Los números de las lámparas han sido dados por el Physikalisch-Technische-Reichsanstalt, donde todas ellas fueron taradas. Las letras que siguen á los números se refieren á los fabricantes.

El valor medio de las tres primeras lámparas con llama de 40 milímetros de altura es 0,896, el de las otras tres 0,903 y el de las seis 0,899 bujías internacionales, muy poco diferente del 0,900 asignado á la lámpara Hefner en el Convenio internacional de 1909; no se debe esperar más aproximación dadas las dificultades inherentes al color y á la intensidad de la llama á que antes se ha hecho referencia.

El valor medio de las tres primeras lámparas con llama de 45 milímetros de altura es 0,992, el de las otras tres 1,000 y el de las seis 0,996 bujías internacionales, poco diferente de una bujía. Puesto que es suficiente una variación muy pequeña de las dimensiones de la lámpara para que su potencia luminosa se modifique de una manera apreciable, se comprende que pueda mejorarse la uniformidad de las lámparas de tal manera que con condiciones muy detalladas podrá conseguirse, sin duda alguna, que la potencia luminosa de la lámpara Hefner con llama de 45 milímetros de altura sea una bujía internacional.

La media de las diferencias entre cada experimento y el valor medio de todos ellos, para cada lámpara, figura en la última columna de la tabla, y se ha obtenido con los datos de los observadores de más experiencia; resulta que el error de cada experimento, con relación al valor medio de todos ellos, es poco más del 0,5 por 100. Los experimentos correspondientes á la lámpara núm. 1.343 con llama de 40 milímetros de altura se dividieron en tres grupos de siete; en el estado que sigue se llama «determinación» á la media de cada grupo:

	Bujías internacionales.	Diferencias con la media.
Primera determinación.....	0,8997	0,0021
Segunda ídem.....	0,9017	0,0001
Tercera ídem.....	0,9049	0,0031
Media.....	0,9018	»
Media.....	»	0,0018

Es decir, que el error es cerca de 2 por 1.000. Si la lámpara continuara dando resultados tan excelentes y se diferenciaban muy poco de ellos los correspondientes á otras lámparas, aquélla sería un buen patrón primario: no se ve motivo alguno para que no sucedan ambas cosas. Como las principales diferencias que presentan las lámparas son debidas á las dimensiones de los tubos para la mecha, habrá que construir éstos con todo esmero, inspeccionarlos con gran cuidado y desechar los que no reúnan las condiciones establecidas. Si cada lámpara dispone de tres ó más tubos para emplearlos sucesivamente, y se toma la media de los resultados obtenidos, los errores accidentales debidos á dichos tubos, é inevitables, se reducirán mucho. Para aceptar la lámpara Hefner por patrón fotométrico primario, habría que convenir en tomar, para valor de la unidad, el que resultara como valor medio de tres lámparas con tres tubos cada una, haciendo diez observaciones, por lo menos, con cada tubo.

En la tabla anterior, la lámpara de cada grupo que tiene menos potencia luminosa es la del tubo más grueso y más pesado; las dos son del mismo constructor y su línea de fe para fijar la altura de la llama está un 0,2 por 100 más baja que lo debido.

Los valores tan grandes que resultan para la lámpara nú-

mero 887 hay que atribuirlos, en gran parte, á que aquella línea de fe está demasiado alta un 0,2 por 100.

Los resultados que se han consignado son mucho más favorables que los obtenidos anteriormente en el Bureau of Standards, y confirman lo mucho que pueden perfeccionarse estos trabajos cuando se llevan á cabo por observadores experimentados y en condiciones favorables. El empleo de la lámpara Hefner en condiciones corrientes, como patrón ordinario, llevaría consigo errores de alguna consideración.

4. LA LÁMPARA DE PENTANO.

La lámpara Harcourt es completamente diferente de la Hefner. Es voluminosa, de construcción complicada, poco portátil, de manejo difícil, cara en sí, y por el combustible exige una ventilación más completa que aquélla y un local de grandes dimensiones. A cambio de estos inconvenientes, posee las ventajas siguientes: gran potencia luminosa, llama fija y con buen color, facilidad de reproducción, cuando funciona en las condiciones debidas, aunque las diferencias entre lámparas entre sí son mayores que en las Hefner.

La lámpara de pentano no tiene mecha. El combustible (pentano, C_5H_{12}) está contenido en un depósito situado en la parte más alta de la lámpara en el cual entra el aire que se mezcla con el vapor de pentano, operación que facilita la división del depósito por una serie de tabiques verticales: la mezcla de aire y de vapor de pentano pasa á una tubería que la lleva al mechero. En verano, el pentano se evapora tan rápidamente que el aire no puede entrar en el depósito y la llama se alimenta exclusivamente con vapor de pentano. El aire para la combustión pasa, antes de llegar á la llama, por el espacio anular que dejan las dos chimeneas concéntricas de la lámpara, en sentido descendente, con lo cual se calienta antes de llegar á la cámara central que hay debajo del mechero. Éste, de forma circular, tiene 30 agujeros por los que sale el vapor de pentano con el que se mezcla el aire caliente de que se acaba de hablar y el natural inmediato al mechero para producir la llama. La altura de esta queda determinada por la distancia entre el mechero y la chimenea, que ha de ser 47 milímetros, y se gradúa con el consumo de combustible para lo cual se maneja una llave que hay en la tubería que va desde el depósito al mechero. La llama se observa á través de una ventana cerrada con mica y situada en la parte inferior de la chimenea interior, obteniéndose la potencia luminosa máxima cuando su altura es la que se ha indicado antes. Como sucede en la lámpara Hefner, dicha potencia depende de las dimensiones de la lámpara, de la composición del combustible, de la del aire, de la forma en que se maneje y de como se regule la llama.

Las condiciones de la lámpara patrón de pentano fueron estudiadas con todo detalle y adoptadas por varios constructores, aunque con algunas variaciones, en América; no son, sin embargo, completas ni suficientes porque las diferencias entre las lámparas, por lo que se refiere á su potencia luminosa, son excesivas, como que con el mismo combustible, en el mismo ambiente y con los mismos experimentadores se encuentran errores, independientes de los de observación, que llegan al 2 y al 3 por 100, razón por la cual no es posible asignar á la llama de la lámpara de pentano 10 bujías internacionales cuando las condiciones en que se produce son las normales.

En algún caso particular podrá ser 9,6 ó 9,8 bujías con humedad y presión atmosférica normales, aun cuando el combustible sea el debido y se cumplan todas las demás condiciones.

La intensidad total de la luz de la llama depende de sus di-

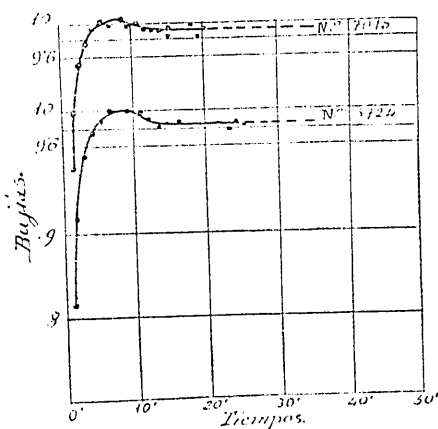
mensiones, ó lo que es lo mismo, del tamaño del mechero. Éste está constituido por un anillo de esteatita, cuyos diámetros interior y exterior son, respectivamente, 14 y 24 milímetros y en el cual se perforan 30 agujeros de 1,25 á 1,50 milímetros de diámetro: nada se especifica sobre el de la circunferencia en que han de estar aquéllos, por cuya circunstancia no es el mismo en todos los mecheros.

Las tres lámparas de fabricación inglesa que se han experimentado satisfacen á las condiciones establecidas para los mecheros: sus agujeros tienen 1,35 milímetros de diámetro; pero el de la circunferencia en que están no es el mismo en las tres, y en el que es menor, un 2 por 100 más pequeño que el de las otras dos, la potencia luminosa es también menor, hecho explicado en un principio por aquella causa; pero posteriormente se ha comprobado que su influencia no pasa del 0,5 por 100. Se han hecho experimentos con una serie de mecheros intercambiables, con diferencias entre sí mayores que las toleradas en las condiciones establecidas para la construcción de este tipo de lámpara; entre los diámetros de las circunferencias en que están perforados los agujeros hay diferencias que llegan al 4 por 100, y las de dichos agujeros varían desde 1,1 hasta 1,5 milímetros; la influencia de los efectos combinados de estas diferencias vale 1 por 100, aproximadamente; la razón de que sea tan pequeña debe ser la facilidad con que el vapor de pentano sale por los agujeros del me-

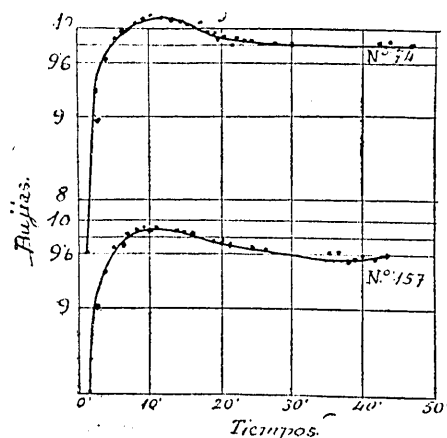
luminosa y otra, que se presenta un poco después, que tiende á disminuirla, siendo ésta mayor en las lámparas americanas que en las inglesas. Tales influencias son, sencillamente, las temperaturas de las dos masas de aire que alimentan la llama. Al principio se calienta sólo la chimenea y se establece una corriente de aire muy activa que al pasar por el mechero hace que la llama sea grande, pero á medida que la lámpara se calienta la diferencia entre las temperaturas de las dos masas disminuye, y simultáneamente la velocidad del aire, y por lo tanto la llama, es algo más pequeña.

Debajo del depósito para el pentano hay en las lámparas inglesas una placa fija á la columna que hace el oficio de radiador disminuyendo la temperatura de la corriente de aire descendente. En las primeras lámparas americanas dicha placa servía únicamente de soporte al depósito y se enlazaba á la columna con dos bridas nada más, de manera que no actuaba como radiador, aquélla se calentaba demasiado, la corriente de aire descendente era lenta y la potencia luminosa de la llama disminuía.

Experimentalmente se ha comprobado que el sistema inglés de sujetar la placa comparado con el americano da potencias luminosas más grandes, un 1 por 100 mayores. En un caso una lámpara americana dió 9,63 bujías con la placa separada de la columna y 9,75 cuando el enlace de una con otra era perfecto, hecho que hace ver la posibilidad de variar el valor de una lám-



Lámparas inglesas.



Lámparas americanas.

Fig. 5.^a

chero, por tener poca importancia la presión que sobre él actúa, esparciéndose sobre todo el espacio que hay encima del mechero. La consecuencia final de todo lo expuesto es que influyen más en el tamaño de la llama las dimensiones y forma de la parte superior del mechero, que el diámetro y situación de los agujeros sobre éste. Con condiciones más detalladas disminuirían las diferencias entre las lámparas.

Es sabido que la potencia luminosa de la lámpara de pentano aumenta durante algún tiempo después de encendida, por cuya circunstancia no deben empezarse las observaciones hasta que haya lucido durante quince ó treinta minutos. Las curvas de la figura 5.^a, correspondientes á dos lámparas inglesas y á dos americanas, demuestran que la luz aumenta al principio hasta llegar á un máximo y disminuye luego un poco hasta llegar al valor normal, al cual excede el máximo en 1,5 ó 3 por 100 y le adquiere la llama al cabo de quince ó treinta minutos. Las dos lámparas inglesas adquieren su valor normal en la mitad de tiempo que las americanas: éstas son del primer tipo que se construyó en América, que tenía menor potencia luminosa que las inglesas, descubriendo una de las causas de este hecho el estudio de las referidas curvas. La forma de éstas indica la presencia de dos influencias opuestas, una que tiende á aumentar la potencia

para, en bujías, sin más que modificar la forma de aquel enlace. Es, por lo tanto, necesaria dicha placa para conseguir que la potencia luminosa de una lámpara sea precisamente diez bujías.

Otro detalle de construcción que produce diferencias parecidas es el enlace entre la parte inferior de la chimenea y la columna, que debe ser de material mal conductor del calor, y por no serlo en las primeras lámparas americanas su potencia luminosa era algo pequeña. Cuando éste y el anterior defecto de construcción se corrigen, conforme se ha hecho en las lámparas americanas modernas, el estado normal se alcanza á los veinte minutos de encendidas y las potencias luminosas son más grandes que las correspondientes á las lámparas que se mencionan en el presente trabajo.

Por el intercambio de los elementos de lámparas distintas, hasta donde esto es posible, se ha comprobado que las diferencias entre las lámparas inglesas estudiadas se deben, principalmente, á las que haya en la circulación del aire. Las lámparas con que se ha experimentado en el Bureau of Standards no son desmontables, así es que no ha sido posible intercambiar sus elementos y, por lo tanto, no se ha llegado á determinar la causa exacta de aquellas diferencias.

La potencia luminosa de una lámpara de pentano se puede

aumentar de una manera apreciable con el enfriamiento de la columna. También tiene influencia la colocación de una pantalla entre la llama y la columna, y probablemente será también sensible la correspondiente á corrientes de aire por encima de la lámpara, más por lo que modifiquen las condiciones de temperatura que por las perturbaciones que lleven á la llama. Es preciso, por lo tanto, tomar algunas precauciones para que, mientras funcione la lámpara de pentano, la corriente de aire que la alimenta sea moderada y constante.

Hay una circunstancia que es causa de que la potencia luminosa de las lámparas americanas tienda á ser mayor que la de las inglesas, y es la manera de sostener la chimenea interior. El borde inferior de ésta ha de distar 47 milímetros del mechero, cuando la lámpara está apagada, de modo, que una vez encendida esta altura disminuirá por efecto de la dilatación, menos en la lámpara americana que en la inglesa, porque en la primera la chimenea se sostiene por su parte inferior, y en la segunda por la superior. En lámparas encendidas se han observado las alturas siguientes entre mechero y chimenea interior: 46,7 milímetros (americana), 45,9-45,8-45,7 milímetros (inglesas). Por lo tanto, para aceptar como patrón primario una lámpara de pentano, hay que estudiar una disposición más satisfactoria para dar á la llama una altura determinada.

Aunque los experimentos se han hecho con muchas lámparas, tanto inglesas como americanas, solamente algunas de las segundas, fabricadas recientemente, tienen la potencia luminosa de la lámpara patrón de pentano del National Physical Laboratory. El fabricante de ésta, á quien se le compraron dos, no se compromete á construir las con potencia doble.

Uno de los inconvenientes de la lámpara de pentano le constituye el combustible, que, además de ser volátil y explosivo, tiene una composición variable y con frecuencia no cumple con las condiciones exigidas. Procede de la destilación de la gasolina, y para que su composición sea siempre la misma hay que destilarle repetidas veces.

La separación total de los butanos (C_4H_{10}) y de los hexanos (C_6H_{14}) es muy difícil, y aun lograda, el pentano puede presentarse en tres formas que tienen temperaturas de ebullición distintas: dos de éstas son poco diferentes de la que corresponde á la última destilación con la que se eliminan algunas sustancias que hierven á temperaturas más elevadas. Por lo tanto, si se destila el pentano que cumple con las condiciones establecidas, se dividirá en tres partes cada una con su temperatura de ebullición. Este fraccionamiento del pentano tiene lugar en el depósito de la lámpara y por ello el valor fotogénico de aquél cambia tanto en pocas horas. Las condiciones de Gas Referees, de Londres, exigen que el depósito se vacíe y se limpie una vez al mes, por lo menos; si se trata de experimentos de gran precisión se aconseja que esta operación se haga siempre que haya necesidad de echar pentano al depósito, para lo cual no se esperará á que éste se vacíe del todo; claro es que procediendo en esta forma se desperdicia mucho combustible. En los trabajos corrientes se puede aprovechar mejor éste con la precaución de aplicar una corrección al emplear las partes más pesadas.

La tabla 6.^a contiene los resultados de los experimentos hechos con tres lámparas de pentano inglesas y con cuatro americanas. En la segunda columna están los números de experimentos hechos con cada lámpara que sirven de base para evaluar los valores medios. Como se dijo al tratar de la lámpara Hefner, un «experimento» es la media de treinta ó más observaciones fotométricas en cada una de las cuales la altura de la llama se ajusta, en caso necesario, varias veces. Treinta observaciones con la lámpara de pentano se hacen en unos cinco minutos, mientras

que veinte con la Hefner requieren quince, hecho debido á la movilidad de la llama de la segunda que exige tiempo para esperar á que esté quieta y tenga la altura debida, cosa que no ocurre con la primera. Cuando las observaciones se registran automáticamente el tiempo invertido en cada experimento se reduce aún tratándose de trabajos de precisión. En la columna cuarta figuran las desviaciones medias de cada «experimento» con relación á la media de todos ellos para cada lámpara resultando menos de 0,4 para el valor medio de todas aquéllas.

Tabla 6.^a

Experimentos con lámparas de pentano (8 de Abril á 9 de Septiembre de 1910)

LÁMPARAS	Número de experimentos.	Potencia luminosa media. — Bajas internacionales.	Desviación media con relación á la potencia luminosa media.
Chance, núm. 116.....	220	9,875	0,03 ₉
Idem núm. 118.....	81	9,89	0,02 ₈
Sugg., núm. 171.....	165	9,82	0,03 ₈
Americana, núm. 25.....	42	9,61	0,04 ₈
Idem núm. 74.....	43	9,73	0,03 ₈
Idem núm. 157.....	46	9,58	0,04 ₁
Idem núm. 162.....	31	9,80	0,02 ₆

En la tabla 7.^a figuran los «experimentos» correspondientes á dos lámparas de pentano en series de diez, constituyendo cada grupo lo que se llama una «determinación», y así puede apreciarse la desviación de cada «experimento» con relación á la media de cada grupo, desviaciones que son debidas á varias causas, entre las que están: las variaciones de la composición del aire, las del combustible, las corrientes de aire, el ajuste de la llama y todos los errores que llevan consigo las mediciones fotométricas.

Tabla 7.^a

«Experimentos» correspondientes á dos lámparas de pentano.

LÁMPARA AMERICANA NÚM. 25				LÁMPARA AMERICANA NÚM. 157			
9,64	9,67	9,61	9,56	9,60	9,57	9,62	9,53
9,59	9,67	9,61	9,62	9,63	9,61	9,64	9,65
9,63	9,75	9,62	9,58	9,64	9,61	9,47	9,61
9,65	9,70	9,64	9,64	9,61	9,55	9,48	9,60
9,53	9,65	9,63	9,64	9,61	9,59	9,51	9,57
9,53	9,64	9,56	9,62	9,58	9,58	9,51	9,64
9,53	9,63	9,57	9,64	9,60	9,58	9,52	9,62
9,46	9,62	9,60	9,56	9,61	9,59	9,51	9,58
9,46	9,60	9,65	9,60	9,61	9,62	9,54	9,62
9,50	9,57	9,59	9,64	9,57	9,64	9,53	9,54
9,552	9,650	9,608	9,610	9,606	9,594	9,533	9,596
Valor medio..... = 9,605				Valor medio..... = 9,582			

La tabla 8.^a contiene los resultados de determinaciones diferentes en cuatro lámparas de pentano americanas: en las columnas Δ están las diferencias con relación á la media, cuyo valor medio es, á su vez, 2 por 1.000, el cual sería aún menor si las lámparas fueran más semejantes de lo que son en realidad.

Una «determinación» es el valor medio de 10 «experimentos».

En la tabla 9.^a se consignan los resultados de un gran número de determinaciones con tres lámparas inglesas. Las 22 determinaciones de la primera lámpara Chance representa 220 experimentos, ó sea unas 10.000 observaciones en el banco fotométrico. El valor medio de las desviaciones de cada determinación, con relación á la media de todas ellas, es 2 por 1.000 en dos lámparas y 1,3 en la tercera. Si las determinaciones correspondien-

tes á cada lámpara se dividen en grupos de cuatro, las diferencias entre el valor medio de cada grupo y el de todos ellos es tan sólo de 0,1 por 100. Para llegar á resultado tan satisfactorio es indispensable realizar un número considerable de experimentos, aun cuando el funcionamiento de las lámparas fuera muy perfecto, porque los errores de las observaciones fotométricas son muy

grandes. Al emprender los experimentos relatados en este trabajo, no se juzgaba posible que fueran de poca importancia los errores debidos á los patrones de llama, cualquiera que fueran las condiciones atmosféricas (humedad, temperatura y presión), aunque las observaciones fueran numerosas y se hicieran durante varios meses.

Tabla 8.^a

Potencia luminosa de cuatro lámparas de pentano, americanas.

DETERMINACIÓN	LÁMPARA NÚM. 25		LÁMPARA NÚM. 74		LÁMPARA NÚM. 157		LÁMPARA NÚM. 162	
	Bujías internacionales.	Δ	Bujías internacionales.	Δ	Bujías internacionales.	Δ	Bujías internacionales.	Δ
Una.....	9,552	— 0,053	9,675	— 0,052	9,606	+ 0,024	9,796	— 0,004
Dos.....	9,650	+ 0,045	9,754	+ 0,027	9,594	+ 0,012	9,807	+ 0,007
Tres.....	9,608	+ 0,003	9,734	+ 0,007	9,533	— 0,049	9,797	— 0,003
Cuatro.....	9,610	+ 0,005	9,744	+ 0,017	9,596	+ 0,014	»	»
Valores medios.....	9,605	0,026	9,727	0,026	9,582	0,025	9,800	0,005

Δ es la diferencia entre cada determinación y la media de todas las que figuran en la tabla

Es posible determinar con muy poca incertidumbre el valor de una lámpara particular; pero las diferencias de varias entre sí son muy considerables. La potencia luminosa de la lámpara Sugg es un 26 por 100 menor que la de las Chance, mientras que las correspondientes á dos lámparas americanas son algo menores que la de la Sugg. Es un hecho indiscutible, en Inglaterra, que las lámparas de pentano tienen valores distintos, así es que el patrón del National Physical Laboratory no corresponde á cualquier lámpara ni es el valor medio de un grupo de ellas, se refiere á una determinada y nada más que á esa. Queda por estudiar el modo de construir lámparas que concuerden entre sí en el grado que cada una de ellas lo hace consigo misma.

Tabla 9.^a

Determinación de la potencia luminosa de tres lámparas de pentano, inglesas.

DETERMINACIÓN	CHANCE, NÚM. 116		CHANCE, NÚM. 118		SUGG, NÚM. 171	
	Bujías internacionales.	Δ	Bujías internacionales.	Δ	Bujías internacionales.	Δ
Una.....	9,821	— 0,054	9,880	— 0,011	9,535	— 0,031
Dos.....	9,827	— 0,048	9,876	— 0,015	9,587	— 0,029
Tres.....	9,846	— 0,029	9,933	+ 0,042	9,612	— 0,004
Cuatro.....	9,875	0,0	9,889	— 0,002	9,579	— 0,37
Cinco.....	9,910	+ 0,035	9,884	— 0,007	9,590	— 0,026
Seis.....	9,894	+ 0,019	9,882	— 0,009	9,599	— 0,017
Siete.....	9,880	+ 0,005	9,902	+ 0,011	9,644	+ 0,028
Ocho.....	9,911	+ 0,036	9,884	— 0,007	9,616	0,0
Nueve.....	9,870	— 0,005	»	»	9,620	+ 0,004
Diez.....	9,903	+ 0,028	»	»	9,646	+ 0,030
Once.....	9,895	+ 0,020	»	»	9,614	— 0,002
Doce.....	9,907	+ 0,032	»	»	9,668	+ 0,052
Trece.....	9,872	— 0,003	»	»	9,618	+ 0,002
Catorce.....	9,883	+ 0,008	»	»	9,630	+ 0,014
Quince.....	9,847	— 0,026	»	»	9,610	— 0,006
Dieciséis.....	9,854	— 0,021	»	»	9,633	+ 0,017
Diecisiete.....	9,871	— 0,004	»	»	»	»
Dieciocho.....	9,898	+ 0,023	»	»	»	»
Diecinueve.....	9,858	— 0,017	»	»	»	»
Veinte.....	9,876	+ 0,001	»	»	»	»
Veintiuna.....	9,867	— 0,008	»	»	»	»
Veintidós.....	9,878	+ 0,003	»	»	»	»
Valores medios...	9,875	0,019	9,891	0,013	9,616	0,019

Las determinaciones correspondientes á las lámparas Chance, núm. 116, y Sugg, se hicieron entre el 8 de Abril y el 9 de Septiembre de 1910; durante este período de tiempo la cantidad de vapor de agua por metro cúbico de aire estuvo comprendida entre 4 y 27 litros. Las determinaciones relativas á la lámpara Chance, núm. 118, se hicieron entre el 18 de Julio y el 9 de Septiembre del mismo año, con humedades comprendidas entre 14 y 27 litros por metro cúbico de aire.

Conclusiones.

Aunque falta mucho para que la lámpara de pentano pueda ser considerada como un buen patrón de llama, no hay duda de que es posible conseguir valores más concordantes que los obtenidos hasta ahora para lámparas distintas, así como reproducir una cualquiera de éstas. No debe emplearse la misma lámpara como patrón primario para determinar la unidad de luz y como patrón corriente para las observaciones fotométricas ni establecer las mismas condiciones para ambas, como ocurre con toda clase de patrones.

Vernar Harcourt ha prestado un gran servicio á la fotometría y á no pocas industrias con su lámpara de pentano, á cuya forma definitiva llegó después de estudios y experimentos muy minuciosos y completos; la experiencia ha confirmado sus excelentes cualidades y es hoy día el patrón fotométrico de llama más práctico que se conoce, pero en cambio no se le puede considerar como patrón primario reproducible: desde este punto de vista es inferior á la lámpara Hefner.

Para que la lámpara de pentano, tal como se construye actualmente, pueda llegar á ser un patrón primario, es necesario perfeccionar su construcción y su funcionamiento: habría que sustituir el tipo corriente de lámpara, sin temperatura y humedad determinadas y con pentano de condiciones ordinarias, por una ó por varias lámparas, construídas con toda escrupulosidad, cuyo funcionamiento se verificará siempre entre límites muy próximos de temperatura y de humedad, con pentano muy puro satisfaciendo á condiciones muy rigurosas y teniendo gran cuidado de que la dosis de oxígeno del aire varíe lo menos posible, tanto en un sentido como en otro. Si se procede así, la unidad de luz puede fijarse con gran precisión tanto con la lámpara Hefner

como con la Harcourt, sobre todo, en relación con los excelentes patrones eléctricos que tanto se emplean actualmente.

En el Bureau of Standards se continúa trabajando con los patrones de llama con objeto de llegar á fijar con detalle sus condiciones de construcción y de funcionamiento.

En todos los experimentos han prestado su valioso concurso á los autores de esta Memoria R. S. Mc-Bride, analizando los combustibles, A. H. Taylor y G. J. Schaladt en las observaciones fotométricas.

Washington 1.º de Abril de 1914.

Ω

El viaducto de hormigón de Tunkhannock, en Nicholson

(PENSILVANIA, ESTADOS UNIDOS)

Esta importante obra, perteneciente á la línea del Delaware Lackawanna and Western Railroad, que une Scranton (Pensilvania) á Edelmira (Nueva York), se describe por el Ingeniero M. P. Calfas en un artículo publicado en *Le Génie Civil*, del cual es un extracto la presente nota.

El viaducto de Tunkhannock tiene una longitud de 724 metros, una anchura de 10,35 y una altura máxima de 91,50 metros del parapeto al punto más bajo de los cimientos. Se compone de 12 tramos, cuyos 10 arcos principales, en plena cimbra, tiene 55 metros de luz, y los otros dos, en sus extremos, 30,50 metros de luz. Las pilas sobre las que descansan los arcos están fundadas sobre la roca, á una profundidad que llega hasta á 30 metros por debajo del suelo y á 18 metros por bajo del nivel del río.

Cada uno de los arcos principales, en lugar de estar constituido por una bóveda continua en toda su anchura, está formado por dos arcos paralelos de 4,27 metros de anchura que dejan entre sí un intervalo de 1,80 metros. Este método de construcción que permite el empleo de una cimbra que no tiene más que una parte de la anchura de la bóveda y que además la hace más ligera y económica, ha sido ideada por M. Séjourné y aplicada por él por primera vez en 1902, en la construcción del gran puente de Luxemburgo. En realidad, se forman así dos puentes de una sola vía adosados el uno al otro y cuyas pilas son comunes. Cada arco, en efecto, lleva una de las dos vías (fig. 2.^a).

Las dimensiones de este viaducto se han determinado de modo que pueda soportar, sobre cada vía, el paso de un tren formado, ya por dos locomotoras del tipo Mikado, de 211 toneladas de peso cada una, seguidas de un tren con un peso de 9 toneladas, próximamente, por metro de vía, ya por dos locomotoras Mallet de 272,5 toneladas de peso cada una, seguidas del mismo tren.

Cada uno de los arcos principales se compone de dos arcos de 54,86 metros de longitud, de 4,27 de anchura y de 5,20 metros de espesor en los arranques y de 2,45 en la clave. Los arcos mismos llevan unas bovedillas en número de 11 por arco, montadas sobre unos pilares, que soportan el tablero. Estos pilares distan de eje á eje 5,20 metros. El tablero se eleva así 7,70 metros sobre el trasdós de los arcos en la clave.

Los arcos principales están contruados de hormigón macizo, en cuyo interior hay hierros, pero sin que su resistencia sea necesaria para la estabilidad del arco, coincidiendo sensiblemente la línea de las presiones con la de los centros de figura. Las barras de acero insertas en el hormigón son barras longitudinales colocadas cerca del intradós y cerca del trasdós, y destinadas principalmente á resistir á los esfuerzos debidos á las variaciones de temperatura.

Las bovedillas y sus pilares de soporte son de cemento armado; el tablero está limitado por unos parapetos de hormigón de 90 centímetros de anchura y 1,20 metros de altura.

Los arcos extremos son de construcción análoga á la de los arcos principales.

Las pilas que soportan los arcos tienen una sección rectangular de 11,10 $\times$ 13,25 metros en la mayor parte de su altura, es decir, hasta próximamente 48,50 metros por debajo del tablero. A partir de esta altura se continúan por un zócalo de unos 5,35 metros de elevación, cuyas paredes están retiradas con relación á las de las pilas, sobre las que arrancan los arcos, 1,30 metros, próximamente. En fin, encima del zócalo, entre los arcos, la pila se prolonga hasta el tablero, no siendo su anchura más que de 7,50 metros, próximamente.

Para la cimentación la sección se ha elevado á 12,20 $\times$ 14 metros, excepto en las cuatro pilas de la orilla occidental, cimentadas á una profundidad menor y cuya sección no se ha ensanchado.

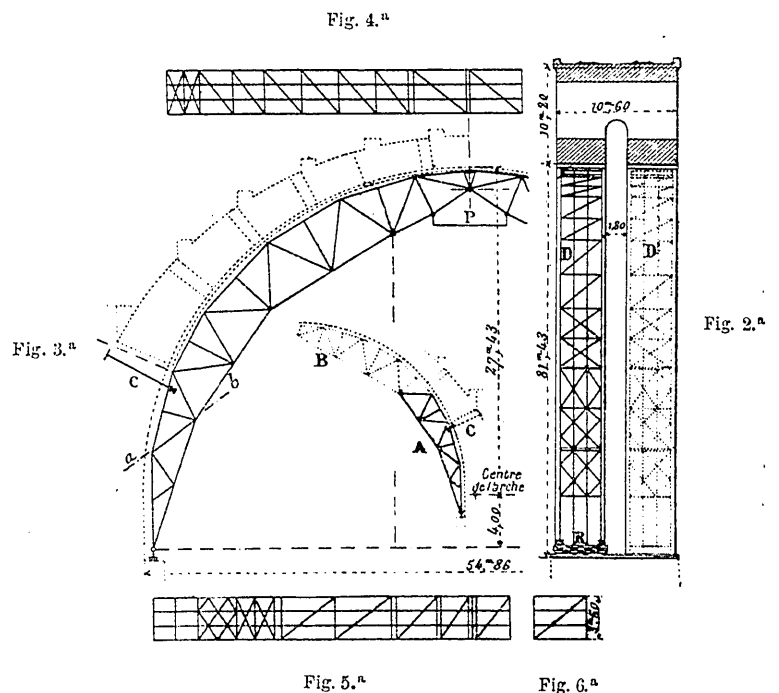


Fig. 4.^a—Vista del arriostramiento de la viga superior.

Fig. 5.^a—Vista del arriostramiento de la viga inferior.

Fig. 6.^a—Corte por a b.

Las pilas se han construido de hormigón macizo, en las proporciones de 1 : 3 : 5 al cual se han incorporado piedras gruesas.

A la proximidad de la línea férrea se han construido un taller y unos depósitos de materiales, unidos á la vía, lo que ha facilitado y acelerado la construcción. Se han tenido que emplear, en efecto, 125.000 metros cúbicos de hormigón y 1.000 toneladas de hierro de armadura, próximamente.

Para el servicio general del taller, y principalmente el transporte del hormigón y el montaje de las cimbras, se han empleado dos transportadores aéreos paralelos, de gran longitud y gran potencia, establecidos sobre el viaducto. Dada la gran longitud de la obra, no ha bastado establecer dos soportes en los extremos de estos transportadores á uno y otro lado del puente, sino que se ha tenido que construir un pilar intermedio, en medio del viaducto, entre las pilas 5 y 6. Así se ha reducido la longitud de cada sección á 460 metros.

Los transportadores son del tipo Lidgerwood, los pilares de los extremos tienen, respectivamente, 45,75 y 50 metros de altura y el central 73 metros. Se construyeron de madera de encina sobre una fundación de hormigón. El cable portador de cada transportador es de acero, y tiene un diámetro de 57 milímetros; su flecha es de 21,53 metros, bajo una carga de 10 toneladas;